

## **ЗАКРЕПЛЕНИЕ НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ У ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ МЕТОДОМ АРМИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПОВЫШЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ**

Шокарев Е.А., Посьпайко В.И.

Запорожское отделение ГП «Научно-исследовательский  
институт строительных конструкций»  
г. Запорожье, Украина

**АННОТАЦИЯ:** В статті описано метод закріплення насипних ґрунтів у підпорній стіні методом армування вертикальними елементами підвищеної жорсткості. Даний метод було реалізовано на практиці спеціалістами ЗВ ДП НДІБК в травні – липні 2015 року.

**АННОТАЦИЯ:** В статье описан метод закрепления насыпных грунтов у подпорной стены методом армирования вертикальными элементами повышенной жесткости. Данный метод был реализован на практике специалистами ЗО ГП НИИСК в мае – июле 2015 года.

**ABSTRACT:** The article describes a method for securing bulk soil at the retaining wall by reinforcing the vertical elements increased rigidity. This method has been implemented in practice by specialists ZD SE NIISK in May - July 2015.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** подпорная стена, закрепление, армирование, вертикальный грунтоцементный элемент, буросмесительная технология.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Метод закрепления грунтовых оснований с использованием вертикальных армирующих элементов получил широкое распространение в практике строительства как при статическом, так и при динамическом воздействиях на грунтовый массив [1 - 8]. При этом имеет место проблема внедрения технологии изготовления и вопрос обоснованного использо-

вания метода армирования грунтов вертикальными элементами повышенной жесткости в практике строительства.

В настоящее время при расчете осадок армированных оснований используется подход, основанный на использовании осредненных характеристик армированного грунта [7, 8]. При этом, для того, чтобы была обеспечена работа армированного грунта в массиве, расстояние между армирующими элементами не должно превышать  $(3...5) \cdot d$ , где  $d$  - диаметр армирующего элемента с круглой формой поперечного сечения. Расстояние между армирующими элементами в этом диапазоне принимается из условия расчета необходимого значения модуля деформации усиленного основания  $E$ .

При написании данной статьи преследовалась цель на конкретном примере описать технологию изготовления и обоснованного использования вертикальных армирующих элементов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На участке индивидуальной застройки жилого дома, расположенного вдоль береговой линии р. Днепр на окраине г. Днепропетровска была выполнена подпорная стена.

Геологическое строение площадки застройки жилого дома до глубины 10,0 м от поверхности земли представлено комплексом осадочных четвертичных отложений, а именно: желтыми, светло-желтыми, желто-серыми, серыми песками кварцевыми от мелкой размерности до гравелистых.

На момент визуального осмотра площадка жилого дома была спланирована, и имела горизонтальную поверхность. Сверху песчаные отложения перекрыты современными насыпными почвами (черноземом).

Подпорная стена – монолитная железобетонная конструкция с максимальной высотой 4,80 м, возведена вдоль береговой линии индивидуального участка застройки жилого дома. Низ фундаментов подпорной стены располагается ниже уровня воды в р. Днепр. Подпорная стена возводилась после подрезки склона береговой линии. После окончания строительства подпорной стенки была выполнена обратная засыпка и бетонное покрытие шириной 3,75 м.

В процессе эксплуатации бетонное покрытие подпорной стены деформировалось.

Выполненными исследованиями на площадке было установлено:

- обратная засыпка подпорной стены и подготовка под бетонное покрытие выполнены из гумусированных суглинков;

- величина неравномерных деформаций бетонного покрытия составляла до 110 мм;
- бетонное покрытие на подпорной стене выполнено толщиной 300...400 мм;
- бетонное покрытие армировано сетками ( $\varnothing 10$  А400С, шаг ~200 мм) в трех уровнях;
- до глубины 6,0 м от поверхности бетонного покрытия пески не вскрыты.

По результатам выполненных исследований возник вопрос предотвращения дальнейших деформаций бетонного покрытия подпорной стены. Были рассмотрены следующие варианты предотвращения дальнейших деформаций: различные виды устройства свайных фундаментов (сваи опираются на фундамент подпорной стены, сваи опираются в пески, сваи-колонны), закрепление насыпных грунтов методом армирования вертикальными грунтоцементными элементами (ГЦЭ) повышенной жесткости.

В результате сравнения всех возможных вариантов по технико-экономическим показателям менее затратными оказались элементы повышенной жесткости, поэтому на них и был сделан выбор.

Разработка проекта закрепления насыпных грунтов и его реализация на практике была выполнена специалистами ЗО ГП НИИСК в мае-июле 2015 года.

Проект закрепления предусматривал преобразование строительных свойств насыпных грунтов обратной засыпки подпорной стены методом армирования вертикальными элементами повышенной жесткости в «пятне» деформированного бетонного покрытия подпорной стены. В качестве элементов повышенной жесткости используются элементы, изготовленные из грунтоцемента (ГЦЭ).

Устройство ГЦЭ предусматривалось осуществлять с дневной поверхности (с поверхности бетонного покрытия). Следовательно, до начала устройства армирующих элементов в бетонной плите в местах их устройства предусматривалось выполнение отверстий диаметром 300 мм.

## **ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Проект предусматривал устройство грунтоцементных элементов  $\varnothing 300$  мм различной длины: ГЦЭ-1 длиной  $L=4,0$  м, ГЦЭ-2 длиной  $L=7,0$  м. План размещения ГЦЭ указан на рис. 1, а на рис. 2 показан поперечный разрез по плану. Длина ГЦЭ-2 определялась после контрольного бурения разведочных скважин. В местах устройства ГЦЭ-2 пробуривались разве-



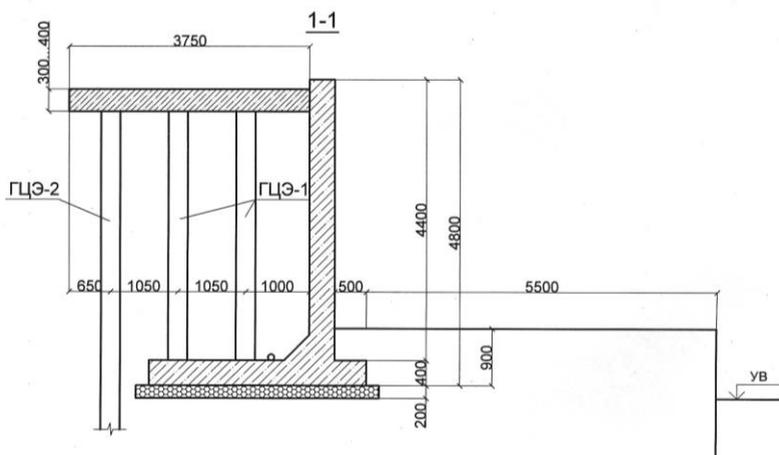


Рис. 2. Поперечный разрез по плану размещения ГЦЭ

Устройство грунтоцементных элементов предусматривало следующие виды и последовательность работ:

- разбивка осей армирующих элементов;
- прорезка в бетонной плите отверстий  $\varnothing 300$  мм с удалением бетона (рис. 3);



Рис. 3. Выполненные отверстия в железобетонной плите в местах устройства грунтоцементных элементов

- лидерное разрыхление грунта в верхней части скважины (1...4 м, определялось при опытном закреплении);

– приготовление рабочего водоцементного раствора с помощью растворомешалки;

– устройство ГЦЭ при помощи буровой машины путем погружения с вращением рабочего органа со штангами со скоростью 90 об/мин. и осевой подачей со скоростью 0,3...0,4 м/мин. с одновременным нагнетанием приготовленного раствора через вертлюг, штанги и буросмеситель с помощью диафрагменного насоса, создающего давление до 0,7 МПа (рис. 4);

– извлечение колонны буровых штанг и коронки из скважины с повторным дополнительным нагнетанием раствора и перемешиванием материала ГЦЭ;

– промывка рукавов, вертлюга и коронки-смесителя;

– отключение, перестановка и подключение технологического оборудования на следующий ГЦЭ;

– удаление грунтоцемента, расположенного в скважине выше низа бетонной плиты.



Рис. 4. Процесс устройства грунтоцементных элементов

Устройство грунтоцементных элементов разрешено осуществлять при температуре воздуха выше 5°C. При знакопеременной температуре воздуха оголовки ГЦЭ утепляются.

Состав водоцементного раствора «цемент + вода» на 1 погонный метр ГЦЭ:

– шлакопортландцемент М400 – 30 кг;

– вода – 60...100% от веса цемента (18...30 л).

Водоцементное отношение суспензии В/Ц = 0,6...1,0.

## ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ

Параметрами оперативного контроля при устройстве армирующих элементов являлись:

- плановая привязка осей скважин согласно проектным параметрам;
- параметры грунтоцементных элементов (длина, диаметр);
- линейная скорость погружения (извлечения) буросмесителя (не более 0,4 м/мин.);
- водоцементное соотношение;
- плотность раствора ( $\gamma = 1,51 \dots 1,7 \text{ г/см}^3$ );
- активность цемента (не ниже М400);
- расход цемента на 1 м.п. скважины (поглощаемость);
- давление нагнетания раствора (при оптимальном давлении отсутствует выпор грунта из скважины).

Контролируемые параметры заносились в журнал производства работ.

## ОПЫТНОЕ ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ

При устройстве первых ГЦЭ отработывалась технология и их технические параметры. В процессе изготовления опытных элементов были определены:

- глубины лидерного разрыхления грунта;
- скорость бурения и извлечения;
- водоцементное отношение раствора;
- поглощаемость скважины;
- давление нагнетания раствора.

В процессе опытного закрепления были определены необходимые параметры выполнения работ, которые позволили достичь погружения рабочего органа на проектную глубину и создание однородной массы грунтоцемента.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

Для определения качества закрепления грунтов производилось вскрытие грунтоцементных элементов. Отбор образцов грунтоцемента из армирующих элементов осуществлялся через 25...28 суток после их устройства с последующими испытаниями в лабораторных условиях согласно [9]. Количество испытанных элементов – 3 шт. на каждые 100

элементов. По результатам лабораторных определений прочность раствора на сжатие на 28-е сутки составила 2,0 МПа, на 90-е сутки – 4,0 МПа.

Контроль длины и сплошности грунтоцементных элементов осуществлялся акустическим методом, контролю подлежало 10% ГЦЭ.

Приёмка работ по закреплению грунтов основания буромесительной технологией производилось в соответствии с требованиями [10] (наличие актов скрытых работ, исполнительных схем, результатов лабораторных испытаний образцов, отобранных из грунтоцементных элементов).

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗКИ ОТ БЕТОННОЙ ПЛИТЫ НА ЭЛЕМЕНТЫ ПОВЫШЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ**

Для передачи нагрузки от бетонной плиты на грунтоцементные элементы предусматривалось вклеивание арматуры в железобетонную плиту с последующим бетонированием ранее вырезанных отверстий.

Работы выполнялись в следующей последовательности:

- очищались металлической щеткой бетонные стенки вырезанных отверстий от грунтоцемента и пыли;

- в стенках вырезанного в бетонной плите отверстия  $\varnothing 300$  мм бурились перфоратором шесть отверстий  $\varnothing 18$  мм длиной 180 мм. Два первых отверстия  $\varnothing 18$  мм располагались на расстоянии 100...150 мм от низа бетонной плиты, два следующих – на 30 мм выше, два последних – еще на 30 мм выше. Отверстия  $\varnothing 18$  мм располагались равномерно по боковой поверхности отверстия  $\varnothing 300$  мм. Отверстия, расположенные напротив друг друга, находились на одной отметке. Угол наклона отверстий относительно горизонта составлял 20...40°. Местоположения отверстий назначались исходя из возможности их изготовления, максимально приближались к низу плиты и не должны были быть сквозными. При получении сквозного отверстия его перебуривали, изменив угол наклона или величину отступа от низа плиты. На рис. 5 показан фрагмент железобетонной плиты и сечение по нему.

Для передачи нагрузки бетонной плиты на элементы повышенной жесткости предусматривалась следующая последовательность работ:

- удаление из отверстий пыли и мусора, прочистка, продувка;
- заполнение отверстий клеем «Hilti HIT-YY 200» (расход клея – 25 мл на одно отверстие);
- погружение в заполненные клеем отверстия арматурных стержней  $\varnothing 14$  мм А400С длиной 400 мм (предварительно изогнутые);
- через 12 часов напротив расположенные стержни сваривались между собой электродуговой сваркой;

– бетонирование отверстий  $\varnothing 300$  мм в бетонной плите бетоном класса С12/15.



Рис. 5. Фрагмент железобетонной плиты и сечение по нему

Подготовка отверстий, клея и вклеивание арматуры выполнялось согласно инструкции к используемому материалу. Бетонирование отверстий в плите выполнялось через 7 суток после устройства грунтоцементных элементов.

При выполнении работ в зимнее время бетонные элементы необходимо утеплять, а в жаркий период времени поливать водой.

Все работы по закреплению грунтов основания выполнялись в соответствии с требованиями техники безопасности в строительстве [11].

## ВЫВОДЫ

1. Продолжение дальнейших деформаций бетонного покрытия подпорной стены было предотвращено за счет закрепления насыпных грунтов в основании бетонного покрытия методом армирования вертикальными грунтоцементными элементами повышенной жесткости.

2. Разработка проекта закрепления насыпных грунтов, его реализация на практике, а также разработка комплекта специального оборудования для изготовления грунтоцементных элементов по буросмесительной технологии выполнены специалистами ЗО ГП НИИСК.

3. На напряженно-деформированное состояние армированных оснований влияют параметры их армирования и природные свойства грунта. Механические свойства армированных массивов регулируются за счет изменения таких параметров армирования как: шаг расстановки элементов, их диаметра и глубины, схемы размещения.

4. Для уменьшения осадок оснований перспективным является метод их армирования жесткими вертикальными грунтоцементными

элементами, выполненными по буромесительной технологии, так как использование грунтоцементных элементов улучшает геотехнические свойства грунта, значительно уменьшает осадки оснований. Механические характеристики грунтоцемента возрастают со временем до 2,5 раз, соответственно он идеально подходит для долгосрочного использования в качестве материала усиления оснований.

5. Закрепление грунтов методом армирования оснований вертикальными грунтоцементными элементами является одним из наименее затратным по технико-экономическим показателям по сравнению с другими возможными методами усиления оснований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мирсаяпов И.Т. Экспериментально-теоретические исследования работы армированных грунтовых массивов / Мирсаяпов И.Т., Попов А.О. // Известия Казанского ГАСУ. – 2008. - №2. – С. 75-80.
2. Нуждин Л.В. Исследование динамического напряженно-деформированного состояния жестких вертикальных армоэлементов / Л.В. Нуждин, Е.П. Скворцов // Вестник ТГАСУ. – Томск: ТГАСУ, 2003. – №1. – С. 225-230.
3. Скворцов Е.П. Колебания фундаментов мелкого заложения с контурным армированием грунтового основания / Скворцов Е.П. // Сейсмостойкое строительство. – М: ВНИИТПИ, 2005. – № 1. – С. 53-56.
4. Мустакимов В.Р. Прочность и деформативность просадочных грунтов оснований, армированных вертикальными армоэлементами: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – М.: МГСУ, 2004. – 24 с.
5. Зоценко М.Л. Досвід і перспективи підсилення основ вертикальними грунтоцементними елементами у міському будівництві / М.Л. Зоценко, Ж.М. Бовкун, В.І. Маляренко // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – №6. – С. 24 – 28.
6. Армирование лессовых грунтов оснований зданий и сооружений / [И.В. Степура, В.С. Шокарев, А.С. Трегуб, А.В. Павлов и др.] // Международная конференция по проблемам механики грунтов, фундаментостроению и транспортному строительству. – Пермь: ПГТУ, 2004. – С. 213–221.
7. Проектирование и устройство оснований и сооружений из армированного грунта. Строительные нормы республики Беларусь. Приложение П10-01 к СНБ 5.01.01-99.
8. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Зміна №2: ДБН В.2.1-10-2009. - [Чинні від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 18 с. – (Будівельні норми України).

9. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Государственный строительный комитет СССР: ГОСТ 10180-90, 1990. – 34 с.
10. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5-2009. - [Чинні від 2012-01-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – IV, 61 с. – (Будівельні норми України).
11. Охорона праці і промислова безпека у будівництві: ДБН А.3.2-2-2009. - [Чинні від 2012-04-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – IV, 116 с. – (Будівельні норми України).

## REFERENCES

1. Mirsaâpov I.T., Popov A.O. Èksperimental'no-teoretičeskie issledovaniâ raboty armirovannyh gruntovyh massivov. Izvestiâ Kazanskogo GASU. – 2008. - #2. – P. 75-80.
2. Nuždin L.V., Skvorcov E.P. Issledovanie dinamičeskogo naprâženno-deformirovannogo sostoâniâ žestkih vertikal'nyh armoèlementov. Vestnik TGASU. – Tomsk: TGASU, 2003. – #1. – P. 225-230.
3. Skvorcov E.P. Kolebaniâ fundamentov melkogo založenîâ s konturnym armirovanîem gruntovogo osnovaniâ. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. – M: VNIITPI, 2005. – # 1. – S. 53-56.
4. Mustakimov V.R. Pročnost' i deformativnost' prosadočnyh gruntov osnovanij, armirovannyh vertikal'nymi armoèlementami. Avtoreferat dissertacii na soiskanie učenoj stepeni kandidata tehničeskikh nauk. – M.: MGSU, 2004. – 24 p.
5. M.L. Zocenko, Ž.M. Bovkun, V.Ĭ. Malârenko Dosvid ì perspektivi pidsilennâ osnov vertikal'nimi ģruntocementnimi elementami u mi's'komu budivnictvî / // Beton i železobeton v Ukraine. – 2006. – #6. – P. 24 – 28.
6. Armirovanie lessovyh gruntov osnovanij zdaniy i sooruzenij / I.V. Stepura, V.S. Šokarev, A.S. Tregub, A.V. Pavlov, V.P. Pavlenko // Meždunarodnâ konferenciâ po problemam mehaniki gruntov, fundamentostroeniû i transportnomu stroitel'stvu. – Perm': PGTU, 2004. – P. 213–221.
7. Proektirovanie i ustrojstvo osnovanij i sooruzenij iz armirovannogo grunta. Stroitel'nye normy respubliki Belarus'. Priloženie P10-01 k SNB 5.01.01-99.
8. DBN V.2.1-10-2009. Zmina #2. Osnovi ta fundamenti sporud. Osnovni položenâ proektuvannâ – K.: Minregion Ukraïni. – 2012. – 18 p.
9. GOST 10180-90 Betony. Metody opredeleniâ pročnosti po kontrol'nyh obrazcam. Gosudarstvennyj stroitel'nyj komitet SSSR, 1990. – 34 p.
10. DBN A.3.1-5-96. Organizaciâ budivel'nogo virobництва. Deržavnij komitet Ukraïni u spravah mi'stobuduvannâ ta arhitekturi, Kiïv, 1996. – 65 p.
11. DBN A.3.2-2-2009. Ohorona pracî ì promislova bezpeka u budivnictvî. – K.: Minregion Ukraïni. – 2012. – 94 p.

Статья поступила в редакцию 11.08.2016 г.